

논문 2004-41TC-7-7

공간적 상관도가 존재하는 채널에 강인한 다중안테나 선택 및 스위칭 시스템

(An Antenna Selection and Switching System Robust to Spatially Correlated Channel)

심 세 준*, 박 승 일**, 이 학 주***, 이 충 용***

(Seijoon Shim, Seung-il Park, Hakju Lee, and Chungyong Lee)

요 약

본 논문에서는 공간 다중화 방식과 다중안테나 다이버시티 기법에 대한 안테나 선택 및 스위칭 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은, 공간적 상관도가 존재하는 채널에서, 안테나 선택을 통해 공간적 상관도를 극복하고 다이버시티와 공간다중화의 스위칭을 통해서 시스템의 오차확률을 개선시킨다. 즉, 제안된 시스템은, 4x2 안테나 환경에서 2개의 전송 안테나를 선택하고, STTD와 BLAST를 순시 채널 정보에 따라 비교하여, 안테나를 선택하고 두 기법을 스위칭 하는 시스템을 제안한다. 모의 실험을 통해, 제안한 안테나 선택 및 스위칭 기법이 2x2 시스템에서 안테나 스위칭 기법보다 낮은 상관도에서 약 2.3dB, 높은 상관도에서 약 3dB의 성능 향상이 있음을 확인할 수 있다.

Abstract

This paper proposes an antenna selection and switching system between spatial multiplexing and diversity techniques. The proposed system overcomes spatial correlation by using antenna selection method and improve bit error performance with switching encoding modes between a spatial multiplexing encoder and a diversity encoder. Therefore, in a 4 transmit and 2 receive antenna system, first, the proposed system selects 2 transmit antennas, and next, switches encoding modes between Space-Time Transmit Diversity and BLAST according to instantaneous channel information. Computer simulations showed that the proposed system improves about 2 or 3 dB SNR in low correlated channel and about 3 dB SNR in highly correlated channel rather than a 2 by 2 antenna switching system.

Keywords: 다중 안테나, 공간 다중화, 다이버시티, 안테나 선택-스위칭, 채널 상관도

I. 서 론

다중 안테나 시스템(MIMO; Multi Input Multi Output)은 고정된 대역에서 전송용량을 크게 확장시킬 수 있는 잠재력 때문에 다양한 연구가 진행 되었다^[1].

다중 안테나 시스템은 전송 다이버시티(transmit diversity) 기법과 공간 다중화(spatial multiplexing)기법으로 분류할 수 있다. 전송 다이버시티 기법은 채널의 다이버시티를 다양한 기법을 통해 이용함으로써 시스템의 성능을 증가시키는 방법이다^{[2][3]}. 다이버시티 기법은 데이터 전송을 측면에서 다중화 방식에 비해 떨어지지만, 오차 확률 측면에서 우수한 성능을 보인다. 공간 다중화 방식은 입력 신호를 여러 개의 병렬 신호로 나누어 다중 안테나로 송수신하는 기법이다^{[4][5]}. 다중화 방식은 데이터 전송율은 크게 증가 시키지만, 오차 확률 측면에서 다이버시티 보다 낮은 성능을 보인다. 따라서, 데이터 전송율을 고정시켰을 때, 다이버시티와 다중화

* 학생회원, *** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과 (Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University)

** 정회원, 삼성전자 (Samsung Electronics)

※ 본 논문은 한국과학재단의 목적 기초연구 사업 (R01-2002-000-00153-0)의 지원으로 수행되었음.
접수일자: 2004년4월16일, 수정완료일: 2004년7월7일

방식은 변조방식의 차이에 의해서 신호대 잡음비에 따라 오차확률의 성능 차이를 보이게 됨으로, 이에 따라 두 기법을 선택적으로 스위칭함으로써 성능을 개선시키는 안테나 스위칭 기법(antenna switching)이 연구되었다^[6].

그런데, 일반적으로 채널은 안테나의 공간적 형태와 제한된 산란체의 개수에 의해서 상관도를 가지게 되며, 채널의 상관도가 높을 경우 다중 안테나 시스템의 성능은 보장할 수 없게 된다^[7]. 채널 상관도를 극복하는 대표적인 시스템으로, 채널 정보에 따라 안테나 조합을 선택하여 상대적으로 독립적인 채널을 가지는 안테나를 통해 정보를 전송하여, 정보 전송 용량을 증가 시키는 안테나 선택 기법(antenna selection)이 연구되었다^[8-10].

본 논문에서는, 상관도가 존재하는 일반적인 채널 환경에서, 4개의 송신 안테나와 2개의 수신안테나를 가진 시스템에서 2개의 안테나를 선택하고, 다이버시티 기법인 STTD(Space-Time Transmit Diversity)^[2]와 다중화 기법인 BLAST(Bell Lab Layered Space-Time)^[5] 중에서 한 기법을 선택하는 안테나 선택 및 스위칭 시스템을 제안하였다.

II. 안테나 채널 모델링

채널 모델을 협대역 신호와 주파수 평탄 채널을 가정하고, 수신단에서 AWGN(Additive White Gaussian Noise)의 영향을 고려하면, 송수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y}_n = \sqrt{\frac{E_s}{M_t}} \mathbf{H} \mathbf{X}_n + \mathbf{W}_n \quad (1)$$

\mathbf{Y}_n 은 수신 신호 벡터, \mathbf{X}_n 은 협대역 송신 신호 심볼 벡터이며, \mathbf{X}_n 은 zero-mean σ^2 편차를 갖는 AWGN 벡터이고, \mathbf{H} 은 채널 행렬이다. E_s 는 전송 전력이다.

송신 안테나의 수를 M_t , 수신 안테나의 수를 M_r 이라고 할 때, 일반적인 다중안테나 채널은 송신단과 수신단 사이에 $M_t \times M_r$ 다중안테나 순시 채널 모델 $\mathbf{H}(\tau)$ 를 생성한다. 채널 $\mathbf{H}(\tau)$ 는 공간 상관도가 있는 채널이며 구성은 다음과 같은 공간적 상관 모델을 사용한다.

$$\mathbf{H}(\tau) = \mathbf{R}_{RX}^{1/2} \mathbf{H}_w(\tau) \mathbf{R}_{TX}^{1/2} \quad (2)$$

\mathbf{R}_{RX} 는 수신안테나의 공간 상관도이며, \mathbf{R}_{TX} 는 송신안테나의 공간 상관도이다. $\mathbf{H}_w(\tau)$ 는 zero-mean i.i.d (identical independent distributed) 복소 가우시안 성분을 가지는 순시 채널 행렬이다. 송신 안테나와 수신안테나의 안테나 상관 행렬은 산란체, 안테나 배열의 함수이다. 송신 상관 행렬 \mathbf{R}_{TX} 와 \mathbf{R}_{RX} 은 다음과 같이 모델링할 수 있다^[10].

상대적인 안테나 공간(spacing)은 $\delta = d/\lambda$ (d 는 절대적인 안테나 공간이며, λ 는 f_c 의 센터 주파수를 가지는 협대역 신호 파장이다)라 하고, 수신단에 L 번째 클러스터는 $\theta_l \sim N(\theta_{ml}, \sigma_{\theta_l})$ (θ_{ml} 과 σ_{θ_l} 은 θ_l 의 평균, 분산)의 분포를 가지고 수신단에 입사한다고 가정하자. 이때 송수신 상관 행렬의 행렬 인자값은 다음과 같이 주어진다.

$$\rho_1(s\delta, \theta_{m_i}, \sigma_{\theta_i}) \approx e^{-j2\pi s\delta \cos(\theta_{m_i})} e^{-\frac{1}{2}(\pi s\delta \sin(\theta_{m_i})\sigma_{\theta_i})^2} \quad (3)$$

여기서, i 와 j 는 안테나 인덱스이며, $s = i - j$ 이다. 본 논문에서는 협대역 신호를 가정하므로, 클러스터 경로를 거치는 신호는 동시에 도착하며, 전체 상관 행렬도 (3)의 합을 가진다. 본 논문에서는 이러한 수신 안테나 상관 행렬은 송신단에서 같은 특성을 가지므로, 송신 상관 행렬 또한, 식 (3)를 따른다.

III. 안테나 스위칭 기법 및 안테나 선택 기법

1. 안테나 스위칭 기법

공간 다중화 방식과 다이버시티 방식을 순시 채널 정보를 이용하여, 채널 상황에 따라 적합한 방식을 택하여 전송하는 방식을 안테나 스위칭 또는 기법 스위칭이라 한다^[9]. 안테나 스위칭은 수신 정상도의 최소 거리를 기준으로 하여, 다이버시티와 공간 다중화 방식을 스위칭 해줌으로써 성능을 개선시키는 기법이다. 안테나 스위칭에서 다이버시티와 다중화 방식간의 공정한 기준을 마련하기 위해서는 전송율을 일치 시켜야 한다. 따라서, 전송 다이버시티 시스템에서는 심볼당 R 비트를 갖는 심볼을 가정한다면, 공간 다중화 방식에서는 심볼당 R/M_t 를 갖는 심볼 변조 방식을 택한다.

다이버시티에서 심볼 에러 확률의 상위 한계는 다음과 같다^[9].

$$P_D \leq N_e Q \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0} d_{\min, MD}^2} \right) \quad (4)$$

여기서 N_e 는 평균 인접 심볼 수이다. 대역폭당 전송율 (Spectral efficiency)을 R bits/s/Hz라 하면, $M_d (= 2R)$ 는 정상도에서 점(point)의 수이며, $d_{\min, MD}^2$ 은 다이버시티에서, 수신 정상도의 최소 거리(Squared minimum Euclidean distance)이다. 마찬가지로, 공간 다중화 기법에서 심볼 에러 확률의 상위 한계는 다음과 같다.

$$P_{SM} \leq N_e Q \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0} d_{\min, SM}^2} \right) \quad (5)$$

안테나 스위칭 시스템에서, 수신기는 순시 채널 정보에 따라 심볼 에러 확률을 기준으로 기법을 선택한다. 이때, 두 기법의 심볼 에러 확률은 d_{\min}^2 에 의존하므로, 두 기법의 d_{\min}^2 , 식(4),(5)을 비교하여 기법을 선택한다.

$$d_{\min, SM}^2 \geq d_{\min, MD}^2 \quad (6)$$

식(6)를 만족시키는 채널에 대해, 송신단에서는 다중화 기법을 선택하고, 그렇지 않은 경우 다이버시티 기법을 선택한다. 수신 정상도는 채널의 함수이므로, d_{\min}^2 은 매 채널마다 계산한다.

2. 안테나 선택 기법

안테나 선택은 상관도가 존재하는 채널에서, 순시 채널 정보를 바탕으로 상관도가 가장 적은 안테나를 선택하는 기법이다^{[8]-[10]}. 다중 안테나 시스템에서 각 안테나는 RF chain을 가지므로 높은 비용이 들지만, 안테나 선택을 통하여, RF chain의 수를 줄임으로써, 비용 면에서 이득을 얻게 된다.

안테나 선택 시스템에서 수신단은 순시 채널 정보를 측정하여, 상대적으로 독립된 채널을 가지는 안테나 서브셋을 찾아낸다. 피드백을 통해 송신단으로 선택된 안테나 정보를 전송하며, 송신단에서는 입력 신호를 선택된 안테나를 통하여 전송한다. 그러나, 다중화 기법과 다이버시티 기법에 적합한 안테나 서브셋은 기법의 특성에 따라 다르다. 따라서, 기법에 따라 안테나 선택 기준을 다르게 적용한다.

가. 공간 다중화 방식에서 안테나 선택

공간 다중화 방식은 수신 정상도의 최소 유클리디언

거리를 기준으로 결정한다. $p_1, p_2, \dots, p_T \in \mathbf{P}$ (\mathbf{P} 는 모든 가능한 전송안테나의 $T = M, C_M$ 서브셋의 집합)인 모든 서브셋에 대해 $d_{\min, SM}^2$ 을 계산하고, 가장 큰 $d_{\min, SM}^2$ 을 가지는 서브셋을 선택한다^[9].

$$d_{\min, SM}^2 (\mathbf{H}_{SM}(p_t)) := \min_{x_i, x_j \in X_{SM}, x_i \neq x_j} \frac{\|\mathbf{H}_{SM}(p_t)(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)\|^2}{M} \quad (7)$$

i, j 는 심볼 인덱스이고, t 는 안테나 서브셋 인덱스이다. 식(2-13)의 계산에서 $X_{SM}(X_{SM} - 1)$ 의 연산이 필요하기 때문에, 높은 차수의 변조 기법의 경우 사용할 수 없다. 따라서 식(2-14)와 같이 하위 한계를 이용한다.

$$d_{\min, SM}^2 (\mathbf{H}_{SM}(p_t)) \geq \frac{\lambda_{\min}^2(p_t) d_{\min, sm}^2}{M} \quad (8)$$

$d_{\min, sm}^2$ 는 송신 정상도 최소 거리이며, M 은 안테나 선택에서 선택된 안테나 수이다. $\lambda_{\min}(p_t)$ 는 $\mathbf{H}_{SM}(p_t)$ 의 SVD(Singular Value Decomposition, 특이치 해석) 값의 의미한다. $d_{\min, sm}^2$, M 은 고정된 상수이므로 식(8)은 $\lambda_{\min}^2(p_t)$ 에 의존한다. 따라서 이 $\lambda_{\min}^2(p_t)$ 이 가장 큰 안테나 서브셋을 찾는다.

나. 전송 다이버시티 기법에서 안테나 선택

다이버시티에서 안테나 선택도, 다중화 방식과 같이 수신 정상도의 최소거리 d_{\min}^2 에 의존하여 결정한다. 그러나, 다이버시티는 다중화 방식과 달리, 전체 다이버시티 기법에 대한, 일반적인 d_{\min}^2 을 유도하기는 힘들다. 그러나, 일정 그룹의 다이버시티 기법에 대하여, 유도하는 것은 가능하다. STTD와 같은 선형 다이버시티 기법^[2,3]에 대한 d_{\min}^2 는 최소 거리는 다음과 같이 상위 한계를 표현할 수 있다.

$$d_{\min, TD}^2 (\mathbf{H}_{TD}(p_t)) \leq \frac{\|\mathbf{H}_{TD}(p_t)\|_F^2}{M} d_{\min, md}^2 \quad (9)$$

$d_{\min, md}^2$ 는 송신 정상도 최소 거리, $\mathbf{H}_{TD}(p_t)$ 는 다이버시티에서 각 안테나 서브셋에 대한 채널이며, $\|\cdot\|_F$ 는 Frobenius Norm이다. (9)에서 $\|\mathbf{H}_{TD}(p_t)\|_F^2$ 를 최대로 하는 안테나 서브셋을 택하여, 안테나 선택을 한다.

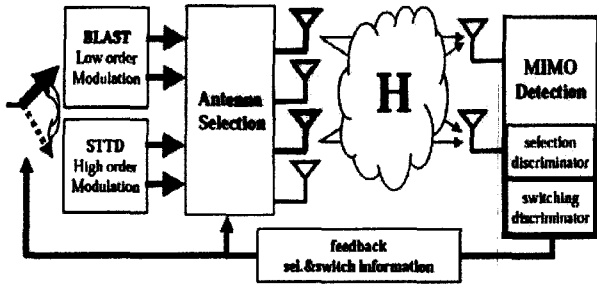


그림 1. 제안한 안테나 선택 및 기법 스위칭 시스템
Fig. 1. The proposed system block diagram.

IV. 제안한 안테나 선택 및 스위칭 기법

본 논문에서는 4개의 송신안테나와 2개의 수신안테나를 가진 시스템에서, 2개의 송신 안테나를 선택하는 시스템을 제안하였다. 다중화 기법으로는 BLAST 기법, 다이버시티 기법으로는 STTD 기법을 적용하여, 선택적으로 전송 가능한 시스템을 구축 하였다. 제안된 안테나 선택 및 기법 스위칭 시스템의 구조는 다음 그림 1과 같다. 제안된 안테나 선택 및 기법 스위칭 시스템에서, 수신단은 안테나 선택 및 기법 선택을 동시에 결정한다.

BLAST 기법에서 채널 \mathbf{H} 에 대하여, 안테나 서브셋($p_1, p_2, \dots, p_6 \in \mathbf{P}$, $T = {}_4 C_2$)에서 최적 안테나 서브셋을 결정하고, 수신 정상도 최소거리를 계산한다. 또한, STTD 기법에서, 안테나 서브셋에서 가장 적합한 안테나와 수신 정상도 최소거리를 구한다. 수신단에서 이 정보들을 비교하여, 적합한 기법과 그에 대응하는 안테나 서브셋에 대한 정보를 송신단에 피드백으로 전송한다. 송신단에서는 첫단계로 수신단에서 전송된 피드백 정보를 통해 BLAST기법과 STTD기법 중 한 기법을 선택한다. 이때, STTD가 BLAST 기법보다 낮은 데이터 전송률을 가지므로, 데이터 전송률을 일치시키기 위해, BLAST 기법보다 높은 차수의 변조방식을 적용한다. 두번째 단계로, 피드백 정보에 포함된 최적 안테나 서브셋을 통해 전송하게 된다.

제안된 시스템은 수신단에서 기법 선택과 그에 따른 안테나 선택을 위한 기준이 필요하다. 따라서, 다음 절에서 BLAST 기법과 STTD 기법에 대한 안테나 선택에 적합한 기준을 제안한다.

1. 안테나 선택

안테나 선택과 안테나 스위칭을 동시에 적용하기 위

해, 각각 기법에 적합한 안테나 선택을 하고, 이에 따라 안테나 스위칭을 진행 하여야 한다

가. BLAST기법에서 안테나 선택

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min_{\mathbf{x} \in X_{SM}} \left\| \mathbf{y} - \sqrt{\frac{E_s}{M}} \mathbf{H}_{p,SM} \mathbf{x} \right\|^2 \quad (10)$$

\mathbf{x} 는 전송신호, \mathbf{y} 는 수신신호이며, $\hat{\mathbf{x}}$ 는 복원신호이고 $\mathbf{H}_{p,SM}$ 는 다중화 기법에서 안테나 선택을 통해 선택된 안테나에 의한 채널이다. M 는 선택한 안테나의 수이다. 따라서 다중화 기법에서, 안테나 선택은 $\hat{\mathbf{x}}$ 과 \mathbf{x} 의 거리를 가장 적은 값으로 만드는 $\mathbf{H}_{p,SM}$ 를 선택하는 것이다. 이를 위한 방법으로, 수신 정상도의 최소거리 $d_{min,SM}^2$ 을 기준으로 하는 기법이다. 이는 식 (7)을 통해, 모든 안테나 서브셋에 대한 수신 정상도 최소거리 $d_{min,SM}^2$ 을 계산한다. 식 (7)을 통해, 모든 서브셋에 대해 $d_{min,SM}^2$ 을 계산하고, 가장 큰 $d_{min,SM}^2$ 을 가지는 서브셋을 선택한다. 이 값은 변조 방식과 정상도와 서브 채널 $\mathbf{H}_{SM}(p_t)$ 에 의존한다. 그러나, 식(11)에서 $X_{SM}(X_{SM}-1)$ 의 연산이 필요하기 때문에, 높은 차수의 변조 기법의 경우 사용할 수 없다. 따라서, 복잡도를 줄이기 위해 채널 $\mathbf{H}_{SM}(p_t)$ 만 고려하여 $\lambda_{min}^2(p_t)$ 의 최대값을 기준으로 안테나를 선택할 수 있다.

$d_{min,SM}^2(P_t)$ 은 위 식과 같은 하위 한계를 가진다. 이때, $d_{min,sm}^2$ 은 송신 정상도의 최소 거리이며, M 은 안테나 선택에서 선택된 안테나 값이므로, $\lambda_{min}^2(p_t)$ 이 선택 기준이 된다. 따라서, 다음 식과 같이 정리할 수 있다.

$$\lambda_{min}(p_t) = \min(SVD(\mathbf{H}(p_t))) \quad (11)$$

이때, SVD는 특이치 해석(singular Value Decomposition)을 의미한다. 이 값을 최대로 갖는 안테나 서브셋을 선택한다.

$$\mathbf{H}_{p,SM} = \arg \max_{H_{p_t} \in \mathbf{H}_p} \lambda_{min}(p_t) \quad (12)$$

본 논문에서는 BLAST 기법에서 안테나 선택은 복잡도를 감소시키기 위해, 최소 고유치의 최대값을 택하는 방식을 적용한다.

나. STTD에서 안테나 선택

다이버시티 기법에서 안테나 선택은 각 기법의 코드 특성에 의존하기 때문에, 임의의 다이버시티 기법에 대해 최소 유클리디언 거리를 계산하는 것은 어렵다. 그러나, STTD와 같은 선형 다이버시티 기법^{[2][3]}에 대한 최소 거리는 다음과 같이 상위 한계를 표현할 수 있다.

$d_{min,td}^2$ 는 송신 정상도 최소 거리, $\mathbf{H}_{TD}(p_t)$ 는 다이버시티에서 각 안테나 서브셋에 대한 채널이다. STTD 기법에서 안테나 선택은 선형 다이버시티 기법 중, 2개의 안테나를 사용하므로, 식(14)에 가장 적합하다. 식(14)를 통해 각 서브셋에 대한 $d_{min,TD}^2$ 을 구하고, 이 값들 중 가장 큰 값을 가지는 서브셋을 선택한다.

2. 안테나 선택에 따른 안테나 스위칭

BLAST와 STTD 에서 안테나 선택 단계에서 정해진 d_{min}^2 의 한계치를 이용하여 비교하면 다음과 같다.

$$\frac{\lambda_{min}^2(p_{SM})d_{min,sm}^2}{M} \geq \frac{\|\mathbf{H}_{TD}(p_{TD})\|_F^2}{M} d_{min,td}^2 \quad (13)$$

$$k_D := \frac{\|\mathbf{H}_{TD}(p_{TD})\|_F}{\lambda_{min}(p_{SM})} \quad (14)$$

$$k_d \leq \frac{d_{min,sm}^2}{d_{min,td}^2} \quad (15)$$

식 (15)를 만족하는 k_d 에 대하여, BLAST 기법의 다중화 기법과 STTD기법의 다이버시티 기법을 비교하여 선택한다. 한계치 비교 과정과 이에 대한 블록 다이어그램은 다음과 같다.

STEP 1. 안테나 선택

BLAST 기법과 STTD 기법에 대해 모드 안테나 서브셋에 대하여, BLAST 기법에서는 고유치값의 최대 값, STTD에서는 Frobenius norm 값의 최대 값을 구한다. 이에 해당하는 최적 안테나 서브셋 P_{SM}, P_{TD} 을 결정한다.

STEP2. 각 기법에 최적 안테나 서브셋에 대한 최소 거리 두 기법에서 선택된 서브셋에 대한 채널을 기준으로 $d_{min,SM}^2, d_{min,TD}^2$ 의 한계치를 비교하여, 기법과 안테나 서브셋을 결정한다.

V. 모의 실험 결과

모의 실험을 통해, 그림 1에 제안된 안테나 선택-스

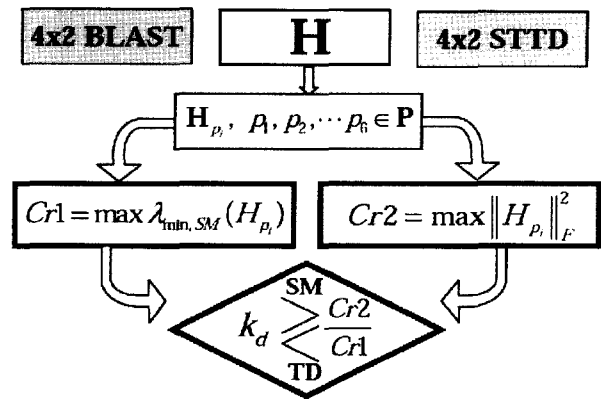


그림 2. 한계치 비교 과정 블록 다이어그램

Fig. 2. Comparison steps for lower bound discriminants.

표 1. 공간적 상관도를 갖는 채널 모델링 시나리오

Table 1. Three scenarios of spatially correlated channel modeling.

	Parameter
S1	Independent channel (No correlation)
S2	Two transmit cluster $[\theta_{m1}, \theta_{m2}] = [\pi/6, \pi/2]$ $[\sigma_{\theta_1}, \sigma_{\theta_2}] = [\pi/20, \pi/40]$
S3	One transmit cluster $\theta_{m1} = \pi/3, \sigma_{\theta_1} = \pi/20$

위칭 시스템의 성능을 보였다. $M_t = 4, M_r = 2$ 이며 대역폭당 전송율은 $R = 4 \text{ bps/Hz}$ 로 가정 하였다. 데이터 전송률을 일치 시키기 위해, 인코더는 16QAM의 STTD과 4QAM의 BLAST 공간 다중화 방식을 안테나 선택-스위칭 한다. 실험에서 채널은 완벽히 추정된다고 가정 하였으며, 피드백 지연은 없는 것으로 가정 하였다.

채널 상관도는 식 (3)에 정의된 파라미터를 가지고 채널을 구성하였다. 채널 모델링 시나리오는 표 1과 같다^[10].

θ_{m1} 는 1번째 경로의 도달 각도의 평균이며, σ_{θ_1} 는 도달각도의 편차이다. 한 개의 클러스터를 가지고, 작은 $\theta_{m1}, \sigma_{\theta_1}$ 을 가지는 첫 번째 시나리오는 높은 상관도를 가지는 시스템이라 할 수 있다. 두 개의 클러스터를 가지는 두 번째 시나리오는 비교적 상관도가 낮은 시스템을 고려한다. 또한, 제안된 시스템의 성능을 4개의 송신 안테나를 모두 이용하는 경우의 시스템과 비교하기 위해, 4x2 안테나를 이용하는 DSTTD (Double Space-Time Transmit Diversity) 시스템과 비교하였다.

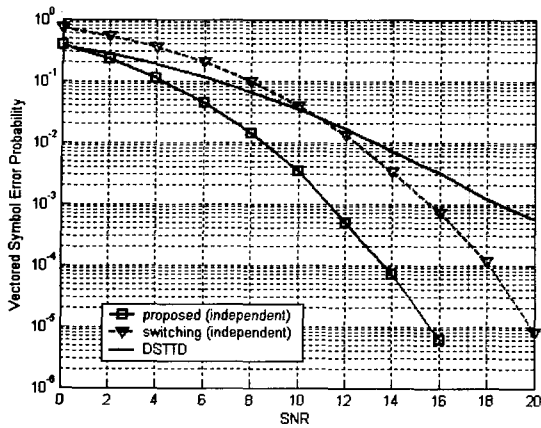


그림 3. 독립 채널 (S I)에서 제안된 기법의 성능
Fig. 3. BER performance of the proposed system in S1.

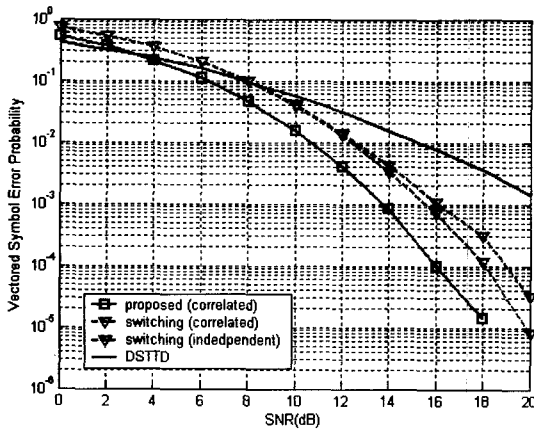


그림 4. 독립 채널 (S II)에서 제안된 기법의 성능
Fig. 4. BER performance of the proposed system in S2.

DSTTD 시스템은 STTD 기법 두개를 적용한 시스템이라 할 수 있으며, 다이버시티의 심볼 에러 확률 측면에서의 장점과 다중화 기법의 데이터 전송률 측면에서 장점을 동시에 추구하는 하이브리드 시스템이다.

그림 3은 첫번째 시나리오인 독립 채널에서, 제안한 4x2 안테나 선택-스위칭 시스템과 2x2 안테나 스위칭 시스템, 4x2 DSTTD 기법과 성능을 비교하였다. 제안된 시스템은 안테나 선택-스위칭을 통해 기존의 2x2 스위칭 시스템보다 10^{-3} SER 에서 약 4dB의 성능 향상을 보이고, 4x2 DSTTD 시스템보다 약 6.5dB의 성능 향상을 보임을 확인하였다. 안테나 선택을 통해, 2x2 안테나 스위칭 시스템과 4개의 송신안테나를 이용하는 경우보다 성능향상이 크다는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 비교적 낮은 송신 상관도를 가지는 채널에서의 성능 비교이다. 제안된 시스템이 2x2 스위칭 시스템보다 약 2.3dB의 성능 향상이 있으며, 독립 채널의

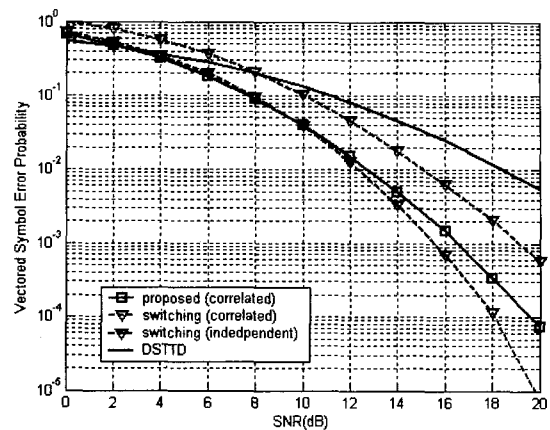


그림 5. 독립 채널 (S III)에서 제안된 기법의 성능
Fig. 5. BER performance of the proposed system in S3.

2x2 스위칭 시스템 보다 약 2dB정도 성능이 증가한다. 2x2 스위칭 시스템의 경우 낮은 상관도에서 약 0.3dB의 성능 저하가 발생하지만, 안테나 선택을 통해 성능을 개선해줌으로써 독립 채널 경우보다 2dB의 성능이 증가함을 확인하였다.

그림 5는 비교적 높은 송신 상관도를 가지는 채널에서의 성능 비교이다. 제안된 시스템이 2x2 스위칭 시스템보다 약 3dB의 성능 향상을 나타낸다. 즉 2x2 스위칭 시스템이 상관도가 큰 채널을 통해 전송되는 경우, 약 4dB정도의 큰 성능 저하가 나타나게 된다. 이러한 경우도 안테나 선택을 통해 채널 상관도를 극복함으로써 독립 채널의 스위칭 시스템 성능에 가까운 성능을 보임을 확인하였다.

제안된 시스템은 낮은 상관도의 채널보다 높은 상관도의 채널이 전체적인 성능은 감소하지만 다이버시티 기법은 공간 상관도에 강인하므로 2x2 시스템의 성능 감소보다 제안된 시스템의 성능 감소는 더 작아져 높은 상관도에서 오히려 성능 증가가 크게 나타난다

VI. 결 론

제안된 안테나 선택-스위칭 시스템은 공간 상관도가 없는 채널에서, 기존의 2x2 시스템에서 안테나 스위칭보다 약 4dB의 성능 개선을 보였다. 채널의 상관도를 고려한 실험을 통해 높은 공간상관도를 가지는 상황에서 제안된 안테나 선택-스위칭 시스템을 통해 약 3dB의 성능 향상을 보였으며, 비교적 낮은 상관도의 경우 약 2.3dB의 성능 향상이 있었다.

참 고 문 헌

[1] W.Keusgen. "On limits of wireless communications when using multiple dual-polarized antennas," Telecommunications, 2003. 10th International Conference, pp.204 -210. Vol. 1, Feb. 2003.

[2] S.M Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, pp. 1451 -1458, Vol. 16, Issue: 8 , Oct. 1998.

[3] V. Tarokh,; N. Seshadri, A.R Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," Information Theory, IEEE Transactions on , pp. 744 -765, Vol. 44 , March 1998.

[4] A. Paulraj, T.Kailath, " U.S #5345599: Increasing capacity in wireless broadcast systems using distributed transmission/directional reception (DTDR)," US patent ,September 1994.

[5] G. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environments using multi-element antennas," Bell Labs Technical Journal, vol.1, pp.41-59, Aug. 1996.

[6] R. W. Heath Jr. and A. Paulraj "Switching between spatial multiplexing and transmit diversity based on constellation distance," in Proc. of Allerton Conf. on Comm. Cont. and Comp., Oct. 2000.

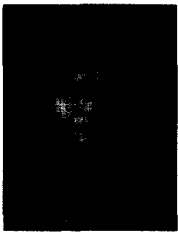
[7] W. C. Jakes, Microwave Mobile Communications, IEEE Press, 1974

[8] D.A. Gore, R.U Nabar, A. Paulraj, "Selecting an optimal set of transmit antennas for a low rank matrix channel," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000. ICASSP '00. Proceedings. 2000 IEEE International Conference on , pp. 2785 -2788 vol.5 , June 2000.

[9] Robert W. Heath Jr, and A.J. Paulraj, "Antenna selection for spatial multiplexing systems based on minimum error rate," IEEE International Conference on , pp. 2276 -2280, Vol. 7 , June 2001.

[10] D.A. Gore, R.U Nabar, A. Paulraj. "Selecting an optimal set of transmit antennas for a low rank matrix channel," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2000. pp: 2785 -2788, Vol.5. June 2000.

— 저 자 소 개 —



심 세 준(학생회원)
 1999년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2001년 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업.
 2004년 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야: 통신신호처리, MIMO 시스템>



박 승 일(정회원)
 2001년 연세대학교 전기전자공학과 학사 졸업.
 2003년 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업
 2004년 현재 삼성전자 연구원.

<주관심분야: 통신신호처리, MIMO 시스템>



이 학 주(정회원)
 1999년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2001년 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업.
 2004년 현재 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야: 통신신호처리, MIMO 시스템>



이 충 용(정회원)
 1995년 Georgia Institute of Technology 박사 졸업.
 1996년~1997년 삼성전자 연구원
 2004년 현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수

<주관심분야: 통신신호처리, 여러 이 신호처리, MIMO 시스템>

